

行政院國家科學委員會專題研究計畫報告

模糊效用推論模型於逐日動態路徑選擇行為之研究

A Study of Day-to-day Dynamic Route Choice Behavior with Fuzzy Utility Reasoning Models

計畫編號：NSC 89-2211-E-032-026

執行期限：89 年 08 月 01 日至 90 年 07 月 31 日

主持人：董啟崇 執行機構及單位：私立淡江大學

一、摘要

以往研究多採隨機模式進行探討駕駛者旅運決策行為存在不確定性，模糊性模式之研究則較為缺乏。本研究承襲以控制實驗法所蒐集模糊通勤相關決策資料另嘗試構建另類之「模糊效用模型」。其作法分別以決策理論觀點出發之規範性多屬性效用與多準則決策方法，以及由行為理論觀點出發之描述性隨機效用理論等以三種不同方式將多屬性整合為單一效用值進行模糊推論，並結合類神經模糊網路，進行逐日動態路徑與出發時間雙維度決策行之構建與實證，結果顯示與實際決策比較符合程度，平均可達七成以上，較系列研究以個別屬性進行探討之推論結果略有提昇，顯示本研究結合效用理論、模糊推論機制與類神經模糊網路所構建動態通勤者決策行為模型亦為另一種可行方式。

Abstract

Previous studies under supervision of this project investigator at the Institute of Transportation Science, Tamkang University, have successfully applied fuzzy reasoning approach and fuzzy neuro models to investigate the dynamic route choice behavior. Continuing effort in this study is to combine the

utility concept with the previously established neuro-fuzzy networks in dynamic route choices in the form of fuzzy utility models. The observations were conducted through controlled experiments considering the cost of effectiveness of this particular approach. Three alternative utility models were conducted and compared. The results have demonstrated high match rate (higher than 70%) with the actual observed actions.

二、前言

近來國內若干研究開始將模糊理論應用於駕駛者旅運決策上，如董啟崇與趙祖佑(1998) [1]為模糊推論機制構建駕駛者決策行為模式之示範；董啟崇與張禎誼(1998) [2]採相同模糊推論架構，利用預測模型及模糊迴歸時間序列探討逐日(Day-to-day)動態駕駛者旅運決策行為；董啟崇與吳淑順(1999) [3]則進一步結合類神經模糊網路，分採六種逐日動態過程進行探討。上述系列研究皆以個別屬性進行模糊決策推論後，加總推論最終通勤決策；本研究考慮以多屬性整合為單一效用值應較個別屬性之推論更符合常見之個體行為，擬由下述兩觀點將多屬性決策變數處理成單一決策指標，以構建效用函數進行通勤決策，

包括互償性決策理論下最常用之方案效用，即以決策理論(Decision Making)觀點出發之規範性(Normative)多屬性效用(Multi-attribute Utility)與多準則決策方法 (Multi-criteria decision making)，另外則從行為理論(Behavior Study)觀點探討描述性隨機效用理論(Random Utility Theory)等三種不同效用求取方式所求得之單一效用值進行模糊推論，即為本研究所概稱「模糊效用模型」之代表意義，最後則利用類神經模糊網路的強大學習功能，進行逐日動態旅運決策行為實證對照分

析。

三、動態通勤行為決策架構

駕駛者決策行為包含認知、評估及反應與決策三部份，動態駕駛者決策行為架構可彙整如圖 1 所示。以逐日動態為例，駕駛者執行其選擇之方案後，該日之旅行績效則會納入決策經驗中，並加以學習，以作為未來決策之重要參考訊息；如此學習與預測週而復始的交互影響，可視為動態決策之概念。

圖 1 動態駕駛者決策行為架構圖

四、模糊通勤資料蒐集

根據上述駕駛者決策行為架構，參照董啟崇與趙祖佑(1998)，董啟崇與張禎誼(1998)之控制實驗法觀察取得實際旅運者連續動態旅運行為資料，為利用模擬的實驗路網及真實的通勤者作實驗，配合各種交通環境模擬，對整體系統結構下之各因素作彈性控制，避免其他條件因素干擾，克服動態通勤行為的複雜性及難以觀測之困難。

受試者可分類為兩類。有限資訊組(Limited-Information)之通勤者只透過本身通勤經驗累積，作為個人決策之依據，通勤過程並無外在資訊加以輔助。完全資訊組(Full-Information)之通勤者透過某交通資訊之給予，可知前一日各路線各出發時間之實際旅行時間與到達時間組合，作為本組受試者今日決策之參考，藉以探討不同資訊取得量對模糊屬性認知以及通勤決策之影響。

控制實驗重複進行 15 至 20 次，代表受試者 15 至 20 天(3 週至 4 週)的逐日決策過程，使受試者有足夠時間完整反映通勤決策過程及其對模糊之認知。

五、雙維度決策行為程序

相關系列研究之通勤模糊推論決策行為，因考慮出發時間與路徑決策雙維度，可依不同決策順序區分為先出發時間決策後路徑決策及先路徑決策後出發時間決策兩種；其中決策行為可區分為選擇(choice)與變換(switch)，選擇行為主要將所有可能替

選方案綜合評比後選擇最佳方案，變換行為則針對原有方案加以評估，決定是否變換原有使用方案。

依控制實驗第一階段行為調查資料分析結果及實驗過程之觀察，根據不同維度的決策順序，大致可歸納出下列六種程序性決策行為模型與所採用之相對應實證樣本，列於表 1 說明。其中決策行為模型(三)與(四)中，有關出發時間變換模式部份，若通勤者決定變換原有出發時間，則須決定變換多少，牽涉到出發時間調整問題，包括時間調整量及出發時間變換方案集合之界定，此問題須構建出發時間調整模式；決策行為模型(五)則因路徑與出發時間之選擇同時以今日對於兩條路徑之預估旅行時間為屬性考慮，然旅行時間之預估須建立於特定出發時間與路徑下，因此本研究暫未探討。根據上節控制實驗法蒐集之樣本，可依資訊型態及對旅行時間或延滯時間預測行為之不同劃分為三組，配合上述決策行為模型進行實證。其中有限資訊樣本主要針對昨日使用路徑於今日可能之旅行時間進行預測，即先進行出發時間選擇決策後，再依昨日路徑於今日可能之旅行時間預測值進行路徑變換決策，此為決策行為模型(二)；完全資訊樣本又可分為僅預測今日已選定路徑旅行時間之樣本及對兩替選路徑今日可能旅行時間皆預測之樣本，前者所採用之決策行為模型為先進行路徑變換決策後，再依選定路線之旅行時間預測值，進行出發時間選擇決策，符合決策行為模型(六)，後者則是先進行出發時間選擇決策後，再預測各替選路徑於今日可能旅行時間，進行路徑選擇決策，符合決策行為模型(一)。

表 1 雙維度決策行為程序說明

決策行為模型		程序性決策	實證樣本
先出發時間決策 再路徑決策	(一)	1. 參考昨日實際通勤旅行時間與延滯時間、資訊顯示系統所提供昨日各出發時間與路徑通勤績效，選擇今日出發時間 2. 依據已決定出發時間預測今日各路徑可能旅行時間與延滯時間，作為選擇今日路徑之參考	完全資訊 (預估兩條路線)
	(二)	1. 參考昨日實際通勤旅行時間與延滯時間選擇今日出發時間 2. 依所選定之出發時間，預估昨日使用路徑於今日可能之延滯時間，作為今日是否變換昨日路徑之參考	有限資訊
	(三)	1. 考慮昨日延滯時間是否達到目標以決定今日是否變換原有出發時間，若決定不變換，則以昨日之出發時間進行路徑決策；若決定變換原有出發時間，則透過出發時間調整模式決定今日之出發時間 2. 依據已決定之出發時間預測各替選路徑可能旅行時間與延滯時間，選擇今日行走路徑	未探討
	(四)	1. 出發時間變換決策方面與決策行為模型(三)同，即決定今日是否變換昨日原有之出發時間後 2. 再依據已決定出發時間預測昨日使用路徑於今日可能之旅行時間及延滯時間，以延滯時間預測值作為今日是否變換昨日原有之路徑之參考	未探討
先路徑決策 再出發時間決策	(五)	1. 參考昨日通勤經驗預測各替選路徑今日可能旅行時間，透過個人對於旅行時間之模糊認知選擇今日通勤路徑 2. 依據今日通勤路徑旅行時間預測值進行出發時間選擇決策	未探討
	(六)	1. 根據昨日實際通勤延滯時間，決定今日是否變換昨日使用路徑 2. 以選定好路徑，預估今日通勤路徑可能旅行時間，作為今日出發時間選擇之參考	完全資訊 (預估一條路線)

六、模糊效用模型

本研究考慮三種方式進行效用模型構建，包括透過最大概似估計法校估效用參數，求取效用值之隨機效用模式；以及多屬性效用模式，首先取

得各影響變數屬性效用值並校估迴歸係數後，加權得效用值；最後為多準則決策方法，變數值標準化後，依各通勤者個人權重求取方案接近指標。方案效用取得後，依通勤者對各方案效用之上下限，構建三角型模糊認知

隸屬函數(圖 2)，進行變數模糊化的工作。考慮通勤者本身決策之模糊概念，配合效用最大原則及滿意規則以近似推論的概念(圖 3)進行選擇與變換決策。

其中選擇行為主要採效用最大原則，假設駕駛者對不同方案均有一特定效用函數，於每一決策點上均會對所有方案進行一次評估，選擇效用最大方案，因此路徑選擇係選取效用最大之方案為今日通勤路徑；路徑變換以滿意規則進行，若原先使用路徑方案之延滯時間大於路徑無異帶，則駕

駛者將傾向於變換原有使用方案。輸入變數分別為駕駛者依影響方案之屬性變數加總所得各方案效用及無異帶，經模糊化後依“if...than”模糊推論規則進行推論，最後非模糊化得到輸出為與方案偏好態度有關之感受或決策。模糊效用語意推論規則範例可表示為“當方案效用 1 非常高且方案 2 效用非常高，則會選擇路徑 1”或“當方案效用 1 高且方案 2 效用高，則可能會選擇路徑 1”等型式；本研究利用模糊類神經網路將透過實際逐日決策行為進行推論規則之動態學習，如圖 4 所示。

圖 2 模糊效用三角型隸屬函數

圖 3 模糊推論架構(董啟崇與趙祖佑, 1998)

圖 4 模糊類神經網路推論架構(董啟崇與吳淑順, 1999)

此外本研究配合類神經模糊網路架構所構建之動態決策行為模式，須依序解決類神經模糊網路輸入變數模糊化、模糊效用之加總過程、推論規則構建與規則權重學習等各項問題。

模糊效用之類神經模糊網路模式構建，主要依據三種不同效用求取方式，可區分為三種構建流程，如圖 5 所示。

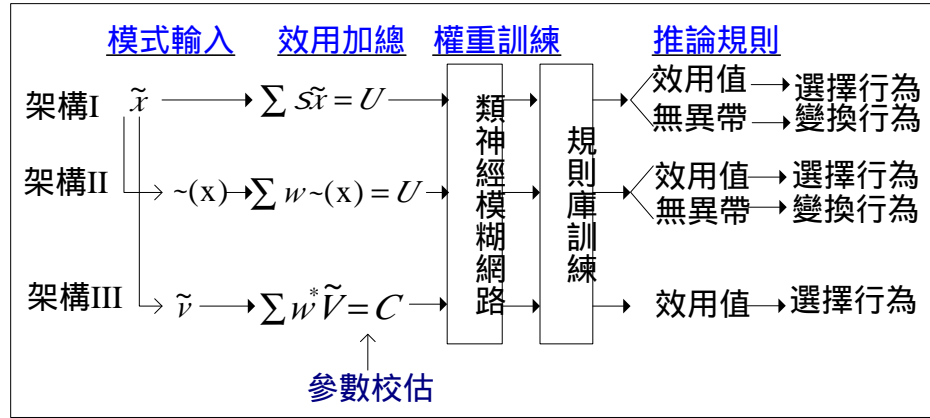


圖 5 類神經模糊網路效用模式構建流程圖

1. 模糊效用決策架構 I(隨機效用)

首先根據最大概似估計法(MLE)校估參數，求取隨機效用函數各方案效用，進而將變數輸入至類神經模糊網路中，經模糊化過程轉變為模糊推論可用型式進行各變數之模糊推論。

透過類神經模糊網路訓練學習過程，找出符合各通勤者進行決策之模糊推論規則及最適規則權重值。效用決策推論部份，選擇行為以選取效用最大方案為基準，變換行為則由無異帶加以評估，若延滯時間超過無異帶，則傾向於變換原先使用方案。

2. 模糊效用決策架構 II(多屬性效用)

根據多屬性效用模式概念，求得各變數之迴歸係數，依此求取多屬性之方案整體效用值，將變數原始值輸入類神經模糊網路中，經模糊化過程首先推論得屬性效用，進行模糊推論。

透過類神經模糊網路學習過程，訓練出各通勤者之最適模糊推論規則

及規則權重值。效用決策推論部份，選擇行為同樣以選取效用最大方案為基準，變換行為則採迴歸方程求取無異帶參數後取得個人無異帶，若延滯時間屬性效用值小於無異帶，則決定變換原先使用方案。

3. 模糊效用決策架構 III(多準則決策)

依據多準則決策方法進行變數標準化，以個人對各屬性之相對重要程度為效用參數，取得各方案效用；進而將變數原始值輸入類神經模糊網路中，經模糊化過程首先推論得標準化值。

透過類神經模糊網路權重學習過程，訓練出各通勤者之模糊推論規則及最適規則權重值。效用決策推論部份，選擇行為以選取效用最大方案為基準，變換行為則因無法取得各通勤者對累積路徑變換次數及累積旅行時間標準差兩變數之重要程度，無異帶則無法構建，故此部份並不予討論。

七、逐日動態通勤行為模式實證結果

7.1 實證模式處理

以系列研究之雙決策維度程序性模式為基礎，實證探討決策行為模型(一) 先出發時間選擇決策再路徑選擇決策、決策行為模型(二) 先出發時間選擇決策再路徑變換決策、決策行為模型(六) 先路徑變換決策再出發時間選擇等三種行為架構，配合模糊

推論機制、決策規則及類神經模糊網路之功能，以 FuzzyTECH 套裝軟體構建本研究逐日動態模糊通勤決策模型之動態通勤實證分析工作。

7.2 實證樣本

本研究實證樣本，考慮現實通勤環境的複雜性、模糊通勤決策資料的難以取得，因此延用系列研究之實證資料如表 2 所示。

表 2 實證樣本分佈表

	完全資訊		有限資訊
	僅預估一條	兩條皆預估	僅預估一條
	模型(六)	模型(一)	模式(二)
區段一	10	5	10
區段二	10	—	11
區段三	7	3	15
區段四	9	1	10
區段五	9	1	10
總計	45(人)	10(人)	56(人)

7.3 動態處理過程

本研究提出單日動態、二日動態、三日動態、週期性單日、週期性二日及週期性三日動態等六種動態通勤行為探討，進行決策行為模型之實證分析工作。每種逐日動態過程之模式架構皆有所差異，說明如下。

1. 單日動態

通勤者決策行為僅受前一日通勤經驗影響，即第一天通勤績效將影響第二天出發時間或路徑之決策結果，第二天通勤績效則影響第三天決策，以此類推。將駕駛者每一通勤日的通勤資料輸入，其決策出象與下一日決策結果比較符合程度，循環至實驗日結束為止。如圖 6 所示。

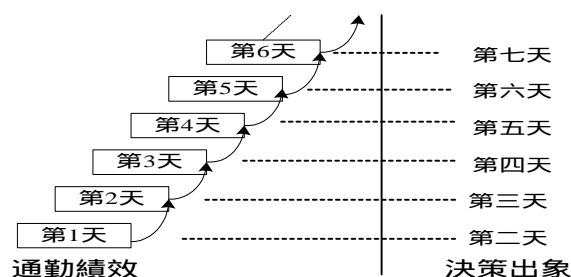
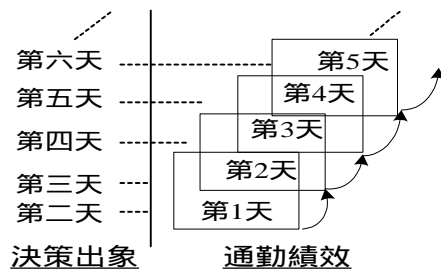


圖 6 單日動態過程[董啟崇與吳淑順(1999)、本研究]

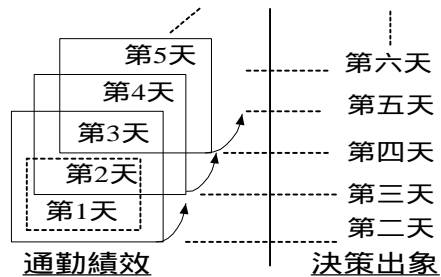
2.多日動態:分為二日動態及三日動態兩種

(1) 二日動態:通勤者決策行為會受連續二天之通勤績效影響,即前一日與前二日之通勤績效將影響今日出發時間或路徑之決策結果。將駕駛者連續兩個通勤日的通勤資料輸入,其決策出象與下一日的決策結果比較符合程度,循環至實驗日結束為止。如圖 7(a)所示。



(a)二日動態過程

(2) 三日動態:通勤者決策行為會受連續三天之通勤結果影響,即前一日、前二日與前三日的通勤績效皆會影響今日出發時間或路徑之決策結果。將駕駛者連續三個通勤日的通勤資料輸入,其決策出象與下一日的決策結果比較符合程度,循環至實驗日結束為止。如圖 7(b)所示。



(b)三日動態過程

圖 7 多日動態過程[董啟崇與吳淑順(1999)、本研究]

3.週期性單日動態

通勤者決策行為每週內以單日動態處理,第一天通勤績效影響第二天決策結果,以此類推,而每週起始日則受上週起始日的通勤績效所影響,即上週一的通勤績效會影響本週一出

發時間或路徑決策結果。將駕駛者上週起始日之通勤資料輸入,其決策出象與本週起始日的決策結果比較符合程度,其餘通勤日則輸入前一天通勤績效,循環至實驗日結束為止。如圖 8 所示。

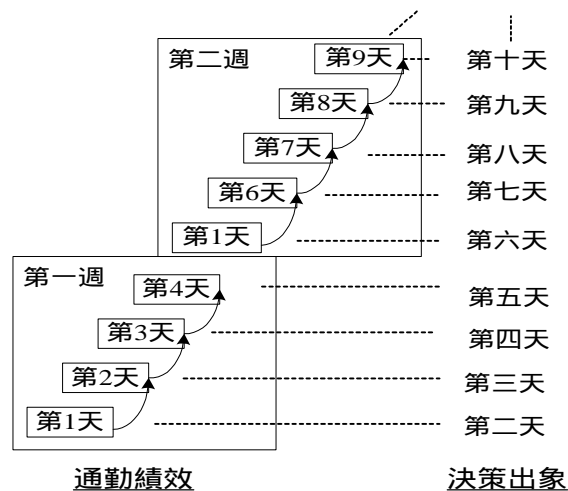


圖 8 週期性單日動態過程[董啟崇與吳淑順(1999)、本研究]

4.週期性多日動態

比照上述可將週期性單日動態每週內改為多日動態處理，又可分成週期性二日動態及週期性三日動態。

7.4 實證結果

綜合本研究各決策行為模型實證與先前研究對照於表 3。本研究路徑選擇與變換決策部份之推論結果符合程度皆較出發時間選擇決策為高，但雙維度決策皆有 70% 以上的水準，表示仍具相當描述能力。不同效用模式進行模糊推論結果顯示以隨機效用模式解釋能力較佳；不同區段通勤駕駛者，遵循不同逐日動態，且可能不只單就某一逐日動態進行通勤決策。本研究以模型(一)符合程度較高，單日動態皆達 80%，其餘五種動態亦達 72%

以上，皆較系列研究高，六種動態綜合符合程度亦可達 78%，但較吳淑順之實證結果差；模型(二)單日動態符合程度達 78%，較趙祖佑與張禎誼佳，其餘三種動態則較差，又以多屬性效用最不理想，各種動態符合程度皆低於吳淑順之研究，但吳淑順進行雙維度決策時，路徑決策推論係以通勤者實際出發時間為基準，本研究則以出發時間選擇決策推論結果為路徑決策推論輸入值；模型(六)單日動態符合程度可達 79%，較系列研究為高，其餘五種動態及六種動態綜合符合程度，部份略低於趙祖佑，然皆高於張禎誼之實證結果。透過上述分析可知，採效用理論整合個別屬性為單一決策指標，並結合類神經模糊網路進行駕駛者通勤決策行為之動態模糊推論，具有相當可行性。

表 3 系列研究實證結果比較表

	實證分析		符合程度		
			模型(一)	模型(二)	模型(六)
趙祖佑 ^[1]	無動態		69.88%	75.32%	78.29%
張禎誼 ^[2]	逐日動態		72.29%	72.63%	76.9%
吳淑順 ^[3]	單日動態		75%	100%	
	六種動態平均		85.33%	92.08%	
本研究	隨機 效用模式	單日動態	84.86%	82.67%	81.20%
		二日動態	84.32%	73.32%	79.08%
		三日動態	79.19%		77.18%
		週期性單日動態	84.86%	81.68%	81.34%
		週期性二日動態	84.59%	73.49%	78.94%
		週期性三日動態	76.76%		77.32%
		綜合	82.43%	77.79%	79.18%
	多屬性 效用模式	單日動態	84.57%	78%	79.93%
		二日動態	72.00%	73.65%	78.03%
		三日動態	74.57%		77.46%
		週期性單日動態	82.29%	73.49%	74.15%
		週期性二日動態	80.86%	68.76%	78.66%
		週期性三日動態	77.14%		78.59%
		六種動態	78.57%	73.475	77.81%
	多準則 決策方法	單日動態	83.78%		
		二日動態	82.97%		

		三日動態	75.95%		
		週期性單日動態	82.97%		
		週期性二日動態	83.51%		
		週期性三日動態	77.57%		
		六種動態	81.13%		

參考文獻

- (1) 董啟崇、趙祖佑，“利用模糊推論方式構建通勤者出發時間與路徑決策行為模式”，中華民國運輸學會第十三屆學術論文研討會論文集，pp. 691-700，中華民國八十七年 12 月 19 日。
- (2) 董啟崇、張禎誼，“應用模糊理論於通勤者動態通勤決策行為之研

究”，中華民國運輸學會第十三屆學術論文研討會論文集，pp. 781-790，中華民國八十七年 12 月 19 日。

- (3) 董啟崇、吳淑順，“應用模糊類神經網路於逐日動態路徑選擇之研究”，中華民國運輸學會第十四屆學術論文研討會，中華民國八十八年 12 月 18 日。